

#### ④ 出血の有無

##### <解説>

血流量と遠心ポンプの回転数は必ずしも比例せず、送血側の抵抗が高かったり、脱血不良状態になったりすると、血流量が低下するが、この状態で遠心ポンプの回転数を上げて血流量は上がらず、血液は溶血する。使用している遠心ポンプの回転数と血流量の関係を把握する事が重要である。

院外心肺停止症例では、PaCO<sub>2</sub> 濃度が上昇していることがあるため、PCPS 開始時の吹送ガス流量は血流量と同じ流量で開始し、適宜調整する。PaO<sub>2</sub> の値が低い場合は、酸素濃度を上げる。PaCO<sub>2</sub> の値が高い場合には、酸素流量を上げる。

PCPS における最大の合併症として出血が挙げられるが、その出血の多くはカニューレ挿入に起因する。安定した PCPS 管理を行う上でカニューレ挿入部位の出血の確認・対処は重要な事項となる。

#### (12) PCPS 回路の観察

- ① 送脱血回路に色調の差はあるか
- ② 回路の屈曲はないか
- ③ 脱血回路の揺れはないか
- ④ 遠心ポンプからの異音、発熱はないか
- ⑤ 人工肺からの血漿漏出はないか

##### <解説>

人工肺で確実なガス交換がされていれば、送脱血回路に色調の差が生じる。送脱血回路に色調の差がない場合、酸素ガスが吹送されていない、人工肺のガス交換能の低下などが考えられる。

回路が屈曲した場合、血流量の低下や脱血回路の揺れが生じる。体位変換や清拭などの処置を行った場合は、回路に屈曲がないか注意する。

長時間遠心ポンプを使用していると異音や発熱を生じる。これにより溶血が発生する可能性が

あるため、注意が必要である。

#### (13) 脱血回路の揺れ

- ① 脱血回路の揺れは、脱血不良のサインである。

##### <解説>

脱血は静脈の血液量に依存するため hypovolemia になると脱血カニューレが血管壁に吸い付き、血流量が低下し、脱血回路は揺れる。この時、遠心ポンプの回転数を上げて血流量は増加せず、脱血回路内は強い陰圧が発生し、溶血の原因となる。輸液や輸血など、循環血液量の補充などが必要である。

#### (14) 循環血液量の補充

- ① PCPS 回路のプライミングラインより補充を行う場合、注意が必要である。

##### <解説>

PCPS 回路のプライミングラインからは、輸液や輸血などの急速な補充が可能である。しかし、PCPS の脱血回路は陰圧になっているため、プライミングラインより補充を行う場合、気泡を引き込まないように注意が必要である。また、同じように CVP ラインからも気泡を引き込む可能性があるため、カテーテルの位置や、CVP ラインや肺動脈カテーテルなどの三方活栓は大気開放にしないなど、十分な注意が必要である。

#### (15) ACT 値<sup>3)</sup>

- ① ACT 値 = 160 ~ 180 秒

##### <解説>

術後の補助循環で行う PCPS では ACT 値は 200 秒前後で管理されており、救命救急の領域では ACT 値は 160 ~ 180 秒で管理している施設も多い。厳密な ACT 値管理が必要である。

## (16) 下肢虚血

- ① 補助循環中は下肢虚血に注意する。

### <解説>

補助循環中は下肢虚血に注意する。基本的に毎時間、超音波ドプラを用いて下肢の血流を確認する。他に下肢虚血の評価方法として、色調の観察、足背動脈・膝窩動脈の触知などがある。血流が確認出来ない場合は、すぐに末梢側へ送血を開始する。下肢血流バイパスの方法として、大腿動脈にシースや留置針を挿入し PCPS の送血側の側管より順行性に送血する。もう一つは、足背動脈へ留置針を挿入し送血側の側管より逆行性に送血する方法がある。

## (17) 人工肺の交換基準

- ① 血漿漏出、酸素加能低下が確認された場合は交換する。
- ② 出来る限り人工肺の性能が維持出来るように努力する。

### <解説>

人工肺や遠心ポンプの交換には技術と熟練が必要である。プレコネクトされた PCPS システムを用いると短時間で交換でき、患者への負担も少ない。しかし、交換により患者の血液が喪失され、その代わりにプライミング液が体内に送られるため、一時的に血圧が低下する可能性がある。十分な循環管理を必要とするため、輸血用の血液や循環作動薬などの準備を行う。

人工肺の結露を予防するため、定期的にガスフラッシュを行う（例えば、2 時間毎にガス流量 10L/min で 2～3 分間）。ただし、ガスフラッシュを長時間行うと血中 CO<sub>2</sub>濃度が低下するため、必ず音が出るタイマーを使用する。

## (18) 心機能の評価

- ① PCPS 中は心機能の評価を行う。

### <解説>

PCPS 中は心機能の評価を常に行う。心機能改善の指標として、心拍出量係数  $>2.0L/min/m^2$ 、壁運動の改善、 $ETCO_2 \approx PaCO_2$  などがある。心機能の改善が認められれば、血流量を徐々に下げ、離脱を考慮する。

## (19) PCPS からの離脱準備

- ① 心機能の改善が認められれば、PCPS からの離脱準備を行う。

### <解説>

心機能改善は認められれば補助流量を 0.3-0.5L/min で減量する。このとき、循環不全が生じた場合には速やかに流量を増量する。循環動態が安定したら、可及的に流量の減量を試みる。

## (20) 循環不全の指標

- ① SvO<sub>2</sub> が 60%以下である
- ② 乳酸値が高値である
- ③ 動脈血液ガス分析でアシドーシスがある
- ④ 生化学検査で異常値がある
- ⑤ 尿量が減少または無尿になる

### <解説>

PCPS の補助流量を減量して、上記の症状が発生した場合は循環不全である。逆に、PCPS の補助流量を減量しても、SvO<sub>2</sub> が 60%以上、乳酸値が正常、動脈血液ガス分析でアシドーシスがない、生化学検査で臓器障害が進行していない、尿量が保たれている場合は、更に補助流量の減量が可能で、PCPS からの離脱を考慮する。

## (21) PCPS からの離脱

- ① 心機能および循環不全の指標に問題がなければ、PCPS からの離脱を行う。

### <解説>

補助流量を 1.0L/min 程度まで減量し、心機能

および循環不全の指標に問題がなければ、ON-OFF テストで評価を行い、PCPS からの離脱を行う。この時も厳密な ACT 値管理が必要である。また、離脱後、再度 PCPS が必要になる事もあるため、その準備をしておく。

#### 参考・引用文献

- 1) 日本人工臓器学会臨床研究推進委員会, PCPS.人工臓器のレジストリー, 人工臓器 35(Supp): 49-54. 2004.
- 2) Extracorporeal Life Support Organization (ELSO): General Guidelines for all ECLS Cases. <http://www.else.org/>
- 3) 鹿野恒:心肺停止症例と人工心肺(PCPS), 人工臓器 37(1), 38-43, 2008.
- 4) 小山富生:PCPS の実際(原理と工夫).新版 経皮的心配補助法-PCPS の最前線. 松田暉監修. 秀潤社, 東京, 2004, 49-60
- 5) 桑名克之: 人工肺. 人工臓器 41(3) : 191-193, 2012.
- 6) American Heart Association. 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science. Circulation, 122(3), S640-S656, 2010
- 7) Nagao K, Kikushima K, Watanabe K, et al : Early induction of hypothermia during cardiac arrest improves neurological outcomes in patients with out-of-hospital cardiac arrest who undergo emergency cardiopulmonary bypass and percutaneous coronary intervention. Circ J 74: 77-85, 2010.
- 8) SOS-KANTO Committee . Incidence of ventricular fibrillation (VF) in patients

with out-of-hospital cardiac arrest in Japan: survey of survivors after out-of-hospital cardiac arrest in Kanto area (SOS-KANTO). Circ J 2005;69:1157-1162

- 9) Cardiopulmonary resuscitation by bystanders with chest compression only (SOS-KANTO): an observational study. Lancet 2007;369:920-926
- 10) Circ J 2002; 66(Suppl.IV)

#### 参考マニュアル

- ・ 自治医科大学附属大宮医療センター臨床工学部 : 体外循環マニュアル [http://www.jichi.ac.jp/center/c\\_kogaku/manual\\_8.pdf](http://www.jichi.ac.jp/center/c_kogaku/manual_8.pdf)

## C.1. PCPS デバイスマニュアル

### C.1.1. PCPS システム

基本的な PCPS システムの回路は、貯血槽を持たない閉鎖回路である (図 1)。血液回路は脱血カニューレ、脱血回路、送血ポンプ、ポンプ回路、人工肺、送血回路、送血カニューレで構成される。基本的な回路構成の他に、人工肺や遠心ポンプを交換しやすいようにバイパス回路を設けたり、そのまま手術にて人工心肺として使用できるように回路を工夫したりしている施設もある。

ここでは最も基本的な回路構成の PCPS システムについて述べる。PCPS システムは血液回路とポンプドライバー、酸素ブレンダー、酸素流量計、これらをまとめて載せる専用台車で構成された PCPS システムとして循環の補助を行う (図 2)。温度調節を行う場合には冷温水槽などが追加される。

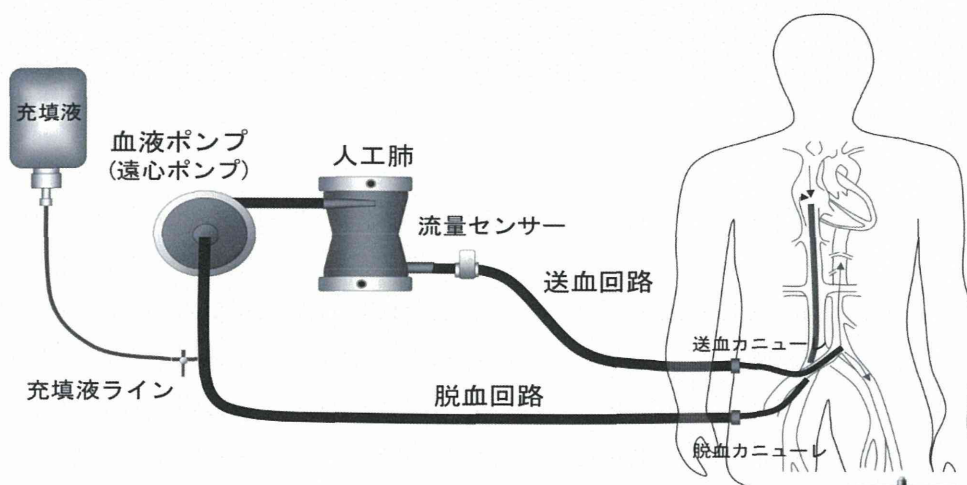


図1 PCPS の基本回路



図 2 PCPS 回路と PCPS システム



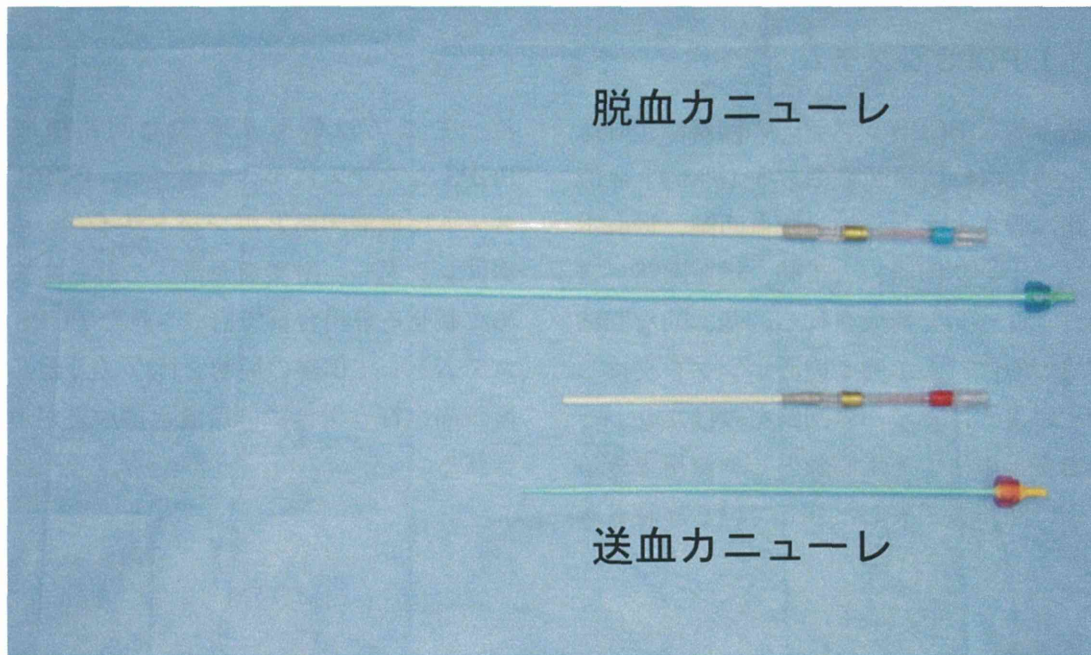


図3 PCPS 用カニューレ

### 1) 脱血カニューレ (静脈カニューレ)

(図3)

脱血カニューレは血液を体外に導き出すためのカニューレで、通常セルジンガー法による穿刺で挿入するタイプを用い、大腿静脈から挿入して先端を右心房付近に留置する。カニューレサイズが PCPS の最大補助流量を決定する因子となり、細いと脱血抵抗が上昇し、脱血流量が確保できず、脱血圧は過度の陰圧になる。過度の陰圧は、脱血回路内あるいは遠心ポンプ内でのキャビテーションを誘発し、血球が破壊されて溶血する。

参考までに、カニューレのサイズと流量の関係を付録に示した。

### 2) 脱血回路 (静脈回路)

脱血回路は脱血カニューレから血液ポンプ入り口までであり、充填液を注入する充填液ラインが取り付けられている。PCPS が、停止もしくは低流量の状態では陽圧で

あるが、流量が増加すると大気圧より低くなる。この状態で充填液ラインなどが開いていると脱血回路に空気を引き込み、結果的に患者に空気を送り込む事故につながる。また、脱血不良で、過度の陰圧になると血液中の溶存ガスが気化して気泡が発生する

### 3) 送血ポンプ

PCPS では送血ポンプに遠心ポンプを用いる。ポンプヘッド内部に高速回転する回転子があり、その回転子が中央部の流入ポートから流入した血液を回転する。回転した血液には遠心力が発生してポンプヘッドの外側へと移動し、外側の流出ポートから送り出される (図4)。ポンプの回転数と流量は必ずしも比例せず、ポンプの停止状態あるいは低回転では送血側から脱血側に逆流する。送血回路の抵抗が大きい場合や、脱血の状態が悪い場合に流量が低下する。この状態でポンプの回転数を無理に上げると、血液はポンプ内で損傷して溶血する。

ポンプの特性はポンプヘッドの大きさや、回転子の形状によって異なる。後述(付録)のポンプの特性を参照。

#### 4) ポンプ回路

送血ポンプと人工肺を結ぶ回路で、回路内圧が最も高い。

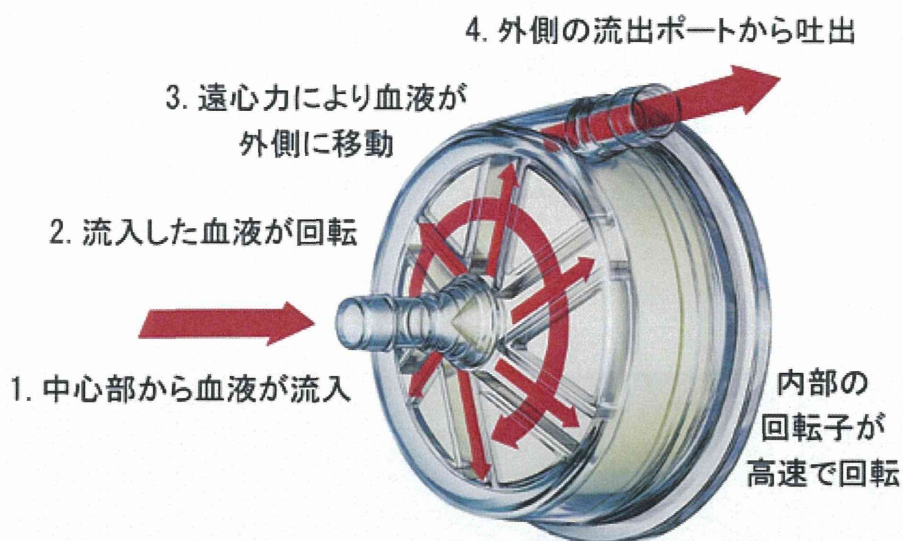


図4 遠心ポンプの原理

#### 5) 人工肺

人工肺は静脈血中の炭酸ガスを排出し、酸素を加えることで動脈血化するものである。PCPSでは必ずしも熱交換器を必要としないので、熱交換器の無い人工肺を用いる施設も多いが、熱交換器一体型では、流入した血液は熱交換器で温度調節された後、ガス交換膜でガス交換される(図5)。ガス交換膜の形状はストロー状のファイバーになっており、内部を酸素と空気の混合ガスが流れ、外部を血液が流れる外部灌流型である(図6)。ガス交換膜は、長時間の使用で血漿が漏れる(プラズマリーク)によりガス交換能が落ちないような素材が主流になっており、微細孔の血液側が塞がれている非対称膜(ポリメチルペンテン)や、多孔質膜をシリコーンでコーティングした複

合膜などが使用されている。プラズマリークとは別に、血液相の水分が水蒸気として膜を通過しガス相で冷えて結露し、ガス交換膜のガス相を塞ぐウエットラングが発生する。このような結露によるウエットラングでもガス交換能の低下は起こり得るが、ガス流量を一時的に上げるなどして結露水を排出すればガス交換能が戻ることが多い。プラズマリークと結露によるウエットラングの区別は、人工肺のガス排出ポートから泡あるいは黄色い泡が滴るか、透明の水が滴るかで区別できる(図7)。人工肺の炭酸ガスの除去は人工肺に吹送するガス流量に依存する。酸素加能は人工肺に吹送する酸素濃度( $F_{I}O_2$ )が大きく関係する。

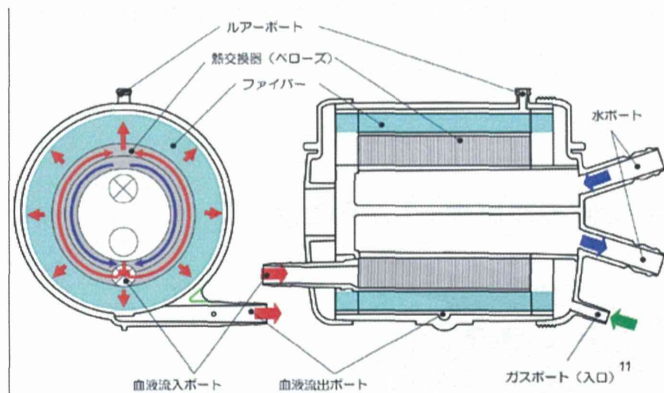


図5 人工肺の構造

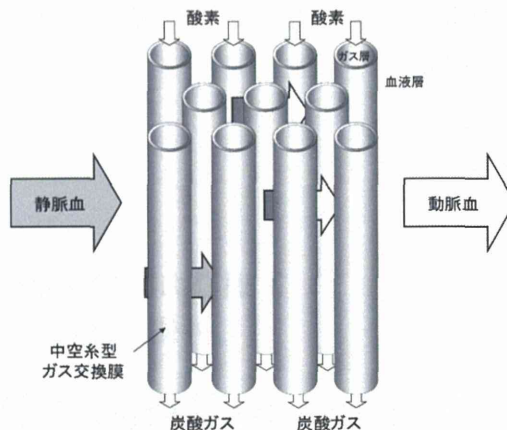
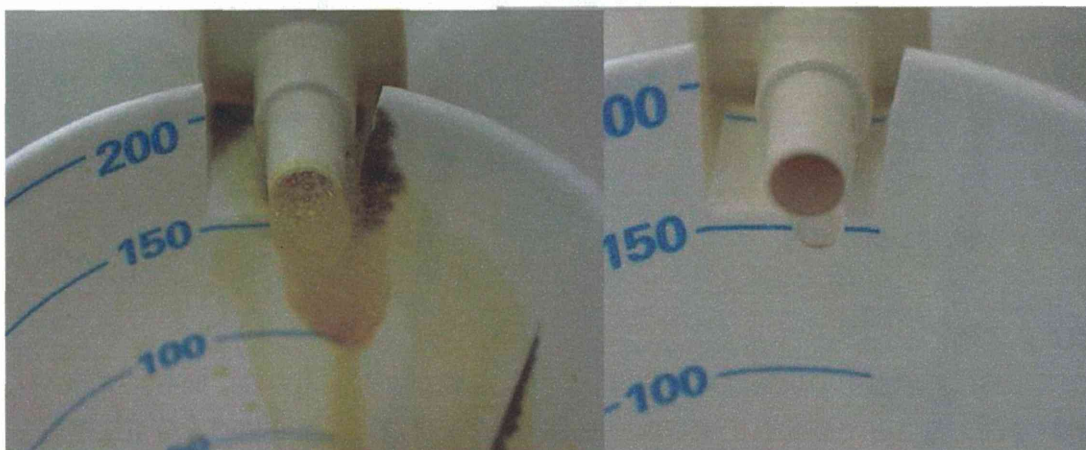


図6 人工肺のガス交換膜



プラズマリークは黄色の泡

結露は透明の水滴

図7 人工肺のプラズマリークと結露

### 6) 送血回路 (動脈回路)

送血回路は人工肺出口から送血カニューレまでの回路で、採血ポートや空気抜きのための枝回路がある。送血回路に充填時の気泡の残留や体外循環中に血栓が形成されると体内に送られるので注意が必要である

### 7) 送血カニューレ (動脈カニューレ)

(図3)

体外循環した血液を体内に送り込むためのカニューレで、通常は脱血同様、穿刺で

挿入するタイプを用いて大腿動脈に挿入する。PCPSの血液回路中で最も内径が細く、送血抵抗がもっとも大きいため最大補助流量を決定する最大因子となる。細いサイズを選択した場合には、流量を確保するために遠心ポンプを高回転にせざるを得ず、前述したように溶血の要因となる。一方、カニューレサイズが太ければ流量は確保しやすいが、挿入した動脈の末梢側への血流が維持できず、下肢の虚血を引き起こす可能

性が大きくなる。

### 8) 駆動モーターと駆動装置

遠心ポンプは駆動用のモーターで回転させる。血液に接触しているポンプヘッドに対し非接触で動力を伝えるため、回転子とモーターそれぞれに一对の磁石が埋め込まれており、この磁力（マグネットカップリング）によって回転力を伝えている（図8）。モーターの回転は駆動装置で制御されていて、駆動装置の回転つまみでポンプの回転数を増減する。駆動装置には回転計と流量計が内蔵されていて、流量は回路に取り付けた流量センサーにより実流量を表示する。駆動装置の内部にはバッテリーがあり、移動時や一時的な停電には動作させることが

できる。しかし長時間の停電や故障に備え、手動装置などのバックアップが必要である。送血ポンプのバックアップとして用いるハンドクランク（図9）はドライブモーターの代行を手行的に行うもので、一定の送血流量を得るのに人為的労力は大きい。また、安定した送血流量を得るためにはハンドクランク本体を支柱などに固定して使用する方が良い。ハンドクランクなどは緊急時に備えて PCPS 装置の近くに必ず配備しておくなければならない。

駆動装置は数種のアラーム機能がある。代表的な遠心ポンプ駆動装置のアラームとその対処法を表1に示す。

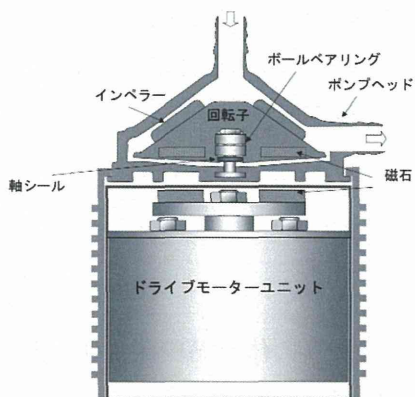


図8 遠心ポンプの構造

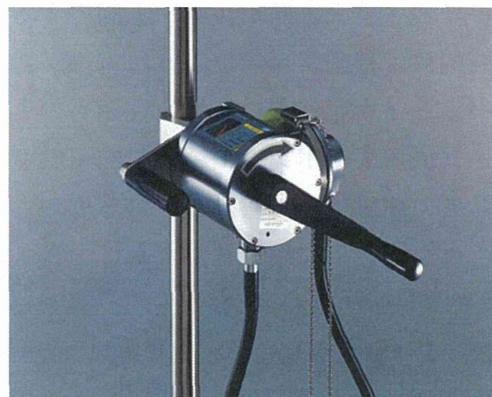


図9 ハンドクランク

| アラーム                   | 原因                 | 対処            |
|------------------------|--------------------|---------------|
| BACK FLOW ERROR        | ポンプが機能せず血液が逆流している  | 送血回路を遮断し原因を探す |
| DRIVE MOTER DISCONNECT | 駆動装置とモーターの接続が外れた   | 直ちに接続         |
| HIGHT FLOW ERROR       | 血圧の著しい低下血圧         | 心機能の再確認       |
| LOW BATTERY            | 電源コンセントが外れ間もなく停止する | 電源の接続         |
| LOW FLOW ERROR         | 回路の折れ曲がりや循環血液量の不足  | 回路に異常かなければ補液  |
| AC LINE OFF            | 電源コンセントの外れ         | 電源の接続         |
| FLOW SENSOR UNSTABLE   | 流量センサーのゲルが乾燥している   | ゲルを塗り直し正しく接続  |
| FLOW SENSOR DISCONNECT | 流量センサーが外れている       | 正しく接続         |

表1 PCPSが発するアラームと対処(Capiox®遠心ポンプシステムの例)



### 9) 酸素ブレンダーと酸素流量計

酸素ブレンダーと酸素流量計は人工肺に酸素と空気を混合したガスを供給する装置（図 1 中央部）である。酸素ブレンダーは壁配管から供給される圧縮空気と酸素ガスを任意の濃度で混合する装置で、つまみ操作で 21～100%の酸素濃度（ $F_{I}O_2$ ）が設定できる。酸素流量計には流量つまみがあり、このつまみで任意の吹送ガス流量を設定できる。酸素流量計と人工肺の酸素流入ポートを酸素チューブでむすぶ。移動時は酸素ボンベから直接酸素を人工肺に供給する必要がある。

### 10) 専用台車（架台）

専用台車は遠心ポンプ駆動装置、ポンプドライバー、人工肺ホルダーを固定する。一般的には移動が可能ないように車輪がある。メーカーが用意している汎用性のももあるが、使用するポンプの種類や使用環境に合わせて施設ごとに設計しているものも多い。コンパクトに設計されたものや、必要

物品の引き出し、酸素ボンベ、冷温水槽を搭載できる台車など様々なものがある。

### 11) 冷温水槽（周辺機器）

人工肺に内蔵された熱交換器に任意の温度で設定された水を送る装置である。冷却は冷媒ガスとコンプレッサーを使用し電力で冷やすタイプと、氷を入れて冷やすタイプがある。加温のためのヒーターは非常に多くの電力を消費するので、使用する部屋の電力容量に注意する。

## C.1.2. 付録（各種特性）

- 1) カニューレサイズと流量
- 2) 遠心ポンプ特性
- 3) 各メーカーの PCPS
- 4) PCPS に関する用語（全体でまとめて今後作成）

PI : Perfusion Index（灌流指数） 患者体表面積( $m^2$ )当たりの体外循環流量(L/min)

V/Q(比) : 血流量 (L/min) に対する人工肺のガス流量 (L/min) の比率

P/F(比) : 肺の酸素化効率 ( $PaO_2/F_{I}O_2$ )

ACT : 活性血液凝固時間

遠心型血液ポンプ システムに組み込まれた製品

|                 |   |  |   |   |   |   |             |
|-----------------|---|--|---|---|---|---|-------------|
| 製造元             | テルモ   | 泉工医科工業   | 泉工医科工業  | 泉工医科工業  | マツケ(ヨストラ)   | ジェイ・エム・エス   |             |
| 販売元             | テルモ   | 泉工医科工業   | 泉工医科工業  | 泉工医科工業  | コスモテック  | ジェイ・エム・エス   |             |
| 名称              | キャピオックス   | メラ遠心ポンプ  | HPMシリーズ   | 遠心血液ポンプ   | ロータフローポンプ   | ミクスフロー  |             |
|                 | CX-SP4538X  | HCF-MP23H  | HPM-15H   | (京セラジャイロポンプ)  | RF-32   | JK-MFP10C JK-MFP06C   |             |
| 製品              |  |  |  |  |  |  |             |
|                 |  |  |  |  |  |  |             |
| 最大外径(mm)        | 90  | 73   | 66  | 86  | 85  | 58  |             |
| インペラー径(mm)      | 78  | 60   | 53  | 65  | 50  | 40  |             |
| 最大流量(L/min)     | 8 (3000rpm)   | 7以上 (5000rpm)  | 8 (5000rpm)   | 10  | 10  | 7 (6000rpm)   | 3 (6000rpm) |
| プライミングボリューム(ml) | 45 (50:一体型)   | 22   | 25  | 40  | 32  | 20  | 18          |
| 質量(g)           | 255   | 106  | 145   | 124   | 60  | 42  | 40          |
| ポート径            | 3/8   | 3/8  | 3/8   | 9.5(3/8")   | 3/8(9.5)  | 10(3/8")  | 6(1/4")     |
| 主な材質            | ポリカーボネート<br>アクリル樹脂  | ポリカーボネート   | ポリカーボネート  | ポリカーボネート  | ポリカーボネート  | ポリカーボネート PEEK<br>ステンレス  |             |
| 原理              | 流路の回転<br>(直線流路)   | 流路の回転<br>(直線流路×4)  | 羽根(インペラ)の回転   | 羽根(インペラ)の回転   | 流路の回転<br>(曲線流路)   | 羽根(インペラ)の回転   |             |
| ヘパリンコート(型式)     | —<br>(Xコーティング)  | NSH-R<br>(HCF-MP23H)   | NSH-R<br>(HPM-15H)  | —   | ソフトライン(ポリマー)<br>BP-RF-32  | コアフリー II  |             |
|                 | —   | イオン結合  | イオン結合   | —   | —   | イオン結合   |             |
| 償還分類            | 遠心b   | 遠心a  | 遠心a   | 遠心c   | 遠心c   | 遠心c   |             |
| 駆動装置            | キャピオックス遠心ポンプコント<br>ローラー SP-101  | HAS-CFP<br>HAS II  | HAP-31<br>HAS-CFP<br>HAS II   | HAS-CFP<br>HAS II   | ロータフローコンソール<br>RFC20-970  | JMSミクスフローコンソール<br>(スタックートMFP)<br>スタックート装置SIII                                       |             |

遠心式体外循環用血液ポンプ

|          | 図中表記 | 機能分類       | 償還価格(平成26年4月) |
|----------|------|------------|---------------|
| 保険償還機能分類 | 遠心a  | 一般型・抗血栓性あり | 70,100        |
|          | 遠心b  | 一般型・抗血栓性なし | 51,900        |
|          | 遠心c  | 長期使用型      | 78,200        |

テルモ<キャピオックス経皮カテーテルキット(X)>

【送血用】

| サイズ    | 接続タイプ(コネクタ) | 外径    | 有効長(挿入部) | コード番号      |
|--------|-------------|-------|----------|------------|
| 13.5Fr | 3/8ストレート    | 4.5mm | 15cm     | CX-EB13ASX |
|        | 3/8ロック      |       |          | CX-EB13ALX |
| 15Fr   | 3/8ストレート    | 5.0mm |          | CX-EB13ASX |
|        | 3/8ロック      |       |          | CX-EB13ALX |
| 16.5Fr | 3/8ストレート    | 5.5mm |          | CX-EB13ASX |
|        | 3/8ロック      |       |          | CX-EB13ALX |

【脱血用】

| サイズ    | 接続タイプ(コネクタ) | 外径    | 有効長(挿入部) | コード番号      |
|--------|-------------|-------|----------|------------|
| 18Fr   | 3/8ストレート    | 6.0mm | 50cm     | CX-EB18VSX |
|        | 3/8ロック      |       |          | CX-EB18VLX |
| 19.5Fr | 3/8ストレート    | 6.5mm |          | CX-EB19VSX |
|        | 3/8ロック      |       |          | CX-EB19VLX |
| 21Fr   | 3/8ストレート    | 7.0mm |          | CX-EB21VSX |
|        | 3/8ロック      |       |          | CX-EB21VLX |

Medtronic<Bio-Medicus cannulae キット>

【動脈用】CBはヘパリンコーティング

| サイズ  | 接続タイプ(コネクタ) | 外径    | 有効長(挿入部) | コード番号       |
|------|-------------|-------|----------|-------------|
| 15Fr | 3/8ストレート    | 5.0mm | 18cm     | CB96535-015 |
| 17Fr | 3/8ストレート    | 5.7mm |          | CB96535-017 |
| 19Fr | 3/8ストレート    | 6.3mm |          | CB96535-019 |
| 21Fr | 3/8ストレート    | 7.0mm |          | CB96535-021 |

【静脈用】CBはヘパリンコーティング

| サイズ  | 接続タイプ(コネクタ) | 外径    | 有効長(挿入部) | コード番号       |
|------|-------------|-------|----------|-------------|
| 15Fr | 3/8ストレート    | 5.0mm | 50cm     | CB96605-015 |
| 17Fr | 3/8ストレート    | 5.7mm |          | CB96605-017 |
| 19Fr | 3/8ストレート    | 6.3mm |          | CB96605-019 |
| 21Fr | 3/8ストレート    | 7.0mm |          | CB96605-021 |
| 23Fr | 3/8ストレート    | 7.7mm |          | CB96605-023 |

【動脈用】

| サイズ  | 接続タイプ(コネクタ) | 外径    | 有効長(挿入部) | コード番号     |
|------|-------------|-------|----------|-----------|
| 15Fr | 3/8ストレート    | 5.0mm | 18cm     | 96530-015 |
| 17Fr | 3/8ストレート    | 5.7mm |          | 96530-017 |
| 19Fr | 3/8ストレート    | 6.3mm |          | 96530-019 |
| 21Fr | 3/8ストレート    | 7.0mm |          | 96530-021 |

【静脈用】

| サイズ  | 接続タイプ(コネクタ) | 外径    | 有効長(挿入部) | コード番号     |
|------|-------------|-------|----------|-----------|
| 15Fr | 3/8ストレート    | 5.0mm | 50cm     | 96600-015 |
| 17Fr | 3/8ストレート    | 5.7mm |          | 96600-017 |
| 19Fr | 3/8ストレート    | 6.3mm |          | 96600-019 |
| 21Fr | 3/8ストレート    | 7.0mm |          | 96600-021 |

Stockert-cannulae<経皮的挿入用カニューレ>

【静脈用】

| サイズ  | 接続タイプ(コネクタ) | 外経   | 有効長(挿入部) | コード番号   |
|------|-------------|------|----------|---------|
| 22Fr | 3/8or1/2    | 22Fr | 70cm     | V172-22 |
| 28Fr |             | 28Fr | 90cm     | V172-28 |

エドワーズ<フェモラルカニューレ>

【動脈用】<フェモラル動脈送血カニューレ>

| サイズ  | 接続タイプ(コネクタ) | 外経    | 有効長(挿入部) | コード番号       |
|------|-------------|-------|----------|-------------|
| 16Fr | 3/8Tコネクタ    | 5.3mm | 15cm     | FEM II O16A |
| 18Fr | 3/8Tコネクタ    | 6.0mm | 15cm     | FEM II O18A |
| 20Fr | 3/8Tコネクタ    | 6.7mm | 15cm     | FEM II O20A |

【静脈用】<フェモラル静脈脱血カニューレ>

| サイズ  | 接続タイプ(コネクタ) | 外経    | 有効長(挿入部) | コード番号    |
|------|-------------|-------|----------|----------|
| 18Fr | 3/8コネクタ     | 6.0mm | 55cm     | VFEM018  |
| 20Fr | 3/8コネクタ     | 6.7mm | 55cm     | VFEM020  |
| 22Fr | 3/8コネクタ     | 7.3mm | 55cm     | VFEM022  |
| 22Fr | 3/8コネクタ     | 7.3mm | 65cm     | VFEM022L |
| 24Fr | 3/8コネクタ     | 8.0mm | 65cm     | VFEM024  |
| 28Fr | 3/8コネクタ     | 9.3mm | 65cm     | VFEM028  |

TOYOBO Flexmate<経皮的挿入用カニューレ>

【送血用】

| サイズ  | 接続タイプ(コネクタ) | 外経    | 有効長(挿入部) | コード番号     |
|------|-------------|-------|----------|-----------|
| 14Fr | 3/8コネクタ     | 4.7mm | 15cm     | PCKC-A-14 |
| 16Fr | 3/8コネクタ     | 5.3mm | 15cm     | PCKC-A-16 |
| 18Fr | 3/8コネクタ     | 6.0mm | 15cm     | PCKC-A-18 |
| 20Fr | 3/8コネクタ     | 6.7mm | 15cm     | PCKC-A-20 |

【脱血用】

| サイズ  | 接続タイプ(コネクタ) | 外経    | 有効長(挿入部) | コード番号     |
|------|-------------|-------|----------|-----------|
| 18Fr | 3/8コネクタ     | 6.0mm | 52cm     | PCKC-V-18 |
| 20Fr | 3/8コネクタ     | 6.7mm | 52cm     | PCKC-V-20 |
| 24Fr | 3/8コネクタ     | 8.0mm | 52cm     | PCKC-V-24 |

## C.2. デバイスの選択基準

PCPS で使用するデバイス選択については、各施設によって様々な基準がある。PCPS の適応症例として、1) 循環補助、2) 肺補助、3) ECPR の大きく 3 つに分類できる。デバイスの選択に関して 1) や 2) に関してはあらかじめ時間的な猶予があり待機的な症例の場合もあるが、心肺蘇生症例は時間的な制約があり可及的速やかな導入が求められる。

### C.2.1. 送脱血カニューレ

送脱血カニューレの選択で問題になるのが、そのサイズである。送脱血血管径や目標とする補助流量などを考慮して送血、脱血それぞれのカニューレのサイズを決定し挿入する。送血側には 15~17Fr、脱血側には 18~21Fr を患者の体格に合わせて選択するのが適当と考えられる。

脱血カニューレの選択に関しては、形状・内径・有効長・サイドホール数・壁の薄さなど、様々な工夫がみられる。(表 カ

ニューレの内径) カタログデータから参考にしたいところだが、各社異なる条件での測定結果なので簡単に比較することが容易ではない。今回、日本で発売されているカニューレの全サイズについて、流量対圧力損失特性を同一条件で測定した結果を示す。(グラフ 1)

方法として TERUMO 社製の CAPIOX SP-101、回路は熱交換器付きの CAPIOX EBS 心肺キットを用いて、リザーバーにグリセリン+生理食塩水を 20°C (ヘマトクリット 36%程度の粘調度) で管理し、送血カニューレは TERUMO 社製 16.5Fr に流量計をつけて固定した。脱血圧、送血圧はカニューレ接続時のエア抜きに使用している三方活栓に圧力計を接続し、計測した。

<参考資料>

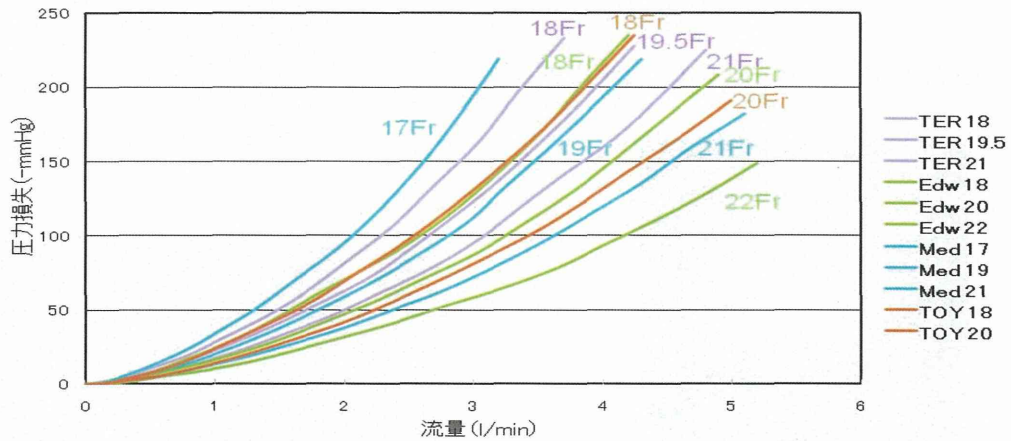
尾藤: PCPS 脱血カニューレの流量特性. 体外循環技術医学会関東甲信越地方会, 2009.

## カニューレの内径

|              | TERUMO  | Edwards  | Medtronic | TOYOBO  |
|--------------|---------|----------|-----------|---------|
| 壁の薄さ<br>(mm) | 0.6~0.7 | 0.75~0.9 | 0.48      | 0.6     |
| Fr数          | 18      | 18       | 17        | 18      |
| 内径(mm)       | 4.8     | 4.5      | 4.74      | 4.8[実測] |
| Fr数          | 19.5    | 20       | 19        | 20      |
| 内径(mm)       | 5.2     | 5.0      | 5.34      | 5.5[実測] |
| Fr数          | 21      | 22       | 21        |         |
| 内径(mm)       | 5.6     | 5.5      | 6.04      |         |

内径 Edwards < TERUMO ≤ TOYOBO < Medtronic

## 結果



サイドホール数  
内径 TERUMO(10) < Medtronic(12) < Edwards(44) < TOYOBO(70)  
Edwards < TERUMO ≤ TOYOBO < Medtronic

グラフ1 流量対圧力損失特性

### C.2.2.オールプレコネクト回路

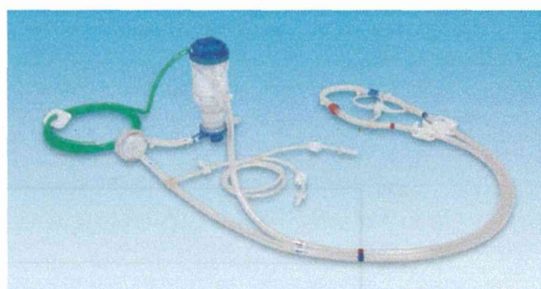
ECPR に用いられる PCPS は特にセットアップ時間の短縮が望まれる。現在日本で発売されているオールプレコネクト回路であれば回路の取り付けから充填まで迅速に行うことができる。

また、遠心ポンプ・人工肺・熱交換器非接触型圧力トランスデューサー・流量/気泡センサー・温度センサー・静脈血ガス測定

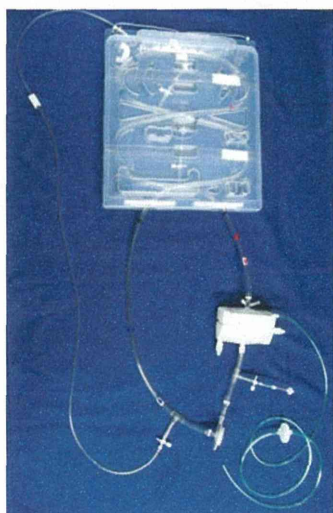
セルが一体化し、様々なパラメータのモニタリングが可能で、利便性が高いシステムであると思われるコンソール CARDIOHELP とプレコネクト回路の HLS SET も薬事承認を取得し、使用可能となっている（2014 年 1 月現在 HLS SET は保険償還価格が未定）。



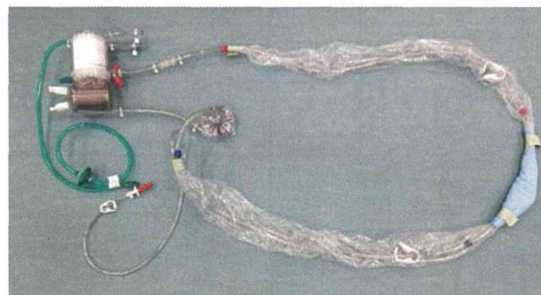
EBS 心肺キット LX タイプ (テルモ)



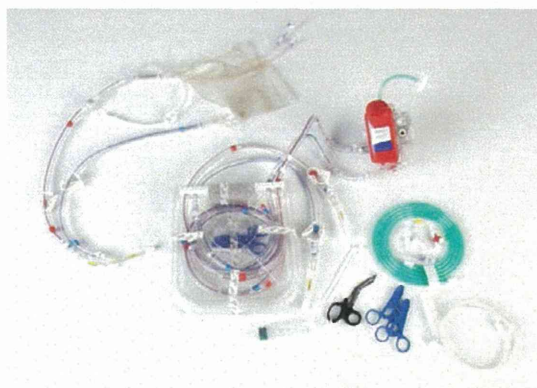
SOLAS (泉工医科工業)



Endumo (平和物産)



GYRO PCPS STATPACK (日本メドトロニック)



SLS SET (MAQUET)

| メーカー          | テルモ   | 平和物産  | メドロニック                             | 泉工医科工業   | MAQUET  |
|---------------|---|---|------------------------------------|--|---|
| 製品名           | キャピオックスEBS心肺キット<br>LXタイプ  | Endumo  | GYRO PCPS STAT PACK<br>カメラダカスタムパック | SOLAS  | * HLS SET   |
| 人工肺           | キャピオックスLX<br>(非対称膜)   | BIOCUBE<br>(非対称膜)   | AFFINITY<br>(多孔質膜)                 | エクセラ<br>(シリコンコート膜)   | Quadroxと同等<br>(非対称膜)  |
| 熱交換器          | 熱交換器付き<br>(無しタイプもあり)  | 熱交換器付き  | 熱交換器付き                             | 熱交換器付き   | 熱交換器付き  |
| 抗凝固<br>コーティング | Xコーティング(非生物)  | ヘパリンコーティング  | ヘパリンコーティング                         | ヘパリンコーティング   | BIOLINE<br>ヘパリンコーティング   |
| 遠心ポンプ         | キャピオックス遠心ポンプ  | RotaFlow<br>または GyroPump  | GyroPump<br>バイオポンプ                 | メラ遠心ポンプ MP-23H<br>メラ遠心ポンプ HPM-15H<br>GyroPump<br>または 組み込み無し        | RotaFlowと同等   |
| 特徴            | ヘパリン起因性血小板減少症<br>患者に使用可能<br><br>人工肺の血漿リークが<br>起きにくく長期使用が可能<br><br>バイオポンプ用の変換アダプ<br>ターあり(メーカー保証なし) | プライミングが簡単<br><br>人工肺の血漿リークが<br>起きにくく長期使用が可能<br><br>遠心ポンプの長期使用が可能<br><br>小児用回路あり | プライミングが非常に簡単                       | 遠心ポンプ組込なしの回路では<br>既存の遠心ポンプを使用できる<br><br>人工肺の血漿リークが<br>起きにくく長期使用が可能 | 遠心ポンプ、人工肺、熱交換<br>器、各種センサーが一体化<br><br>非接触型圧カトランスデュー<br>サーが3チャンネル<br><br>温度センサー、静脈血ガス測定<br>セルで数値を連続モニター可能 |

\* 2014.1現在償還区分申請中



## C.3. 周辺機器

PCPS 管理に伴う周辺機器は補助循環装置という特徴から、呼吸、循環、代謝に係わる生命維持管理装置を中心とした装置とそれに付随した機器が使用される。ここでは PCPS を管理する機器の目的や特徴、それから得られる生体情報について解説する。

### C.3.1. 人工呼吸器

PCPS 施行中は通常と異なる循環動態であるため、注意が必要である。自己拍出に応じた適切な換気量の調節と、PEEP による無気肺の防止に努める。蘇生後自己肺によるガス交換能が著しく低下している場合があるため、自己心の拍出する血液と PCPS から送血される血液との mixing point を考慮し動脈血液ガスは可能な限り、右手から採血し、冠灌流・脳灌流血の酸素分圧に留意する。また、自己肺のガス交換能が良好な場合は PCPS により肺循環が減少しているため、通常時と同様の分時換気量で人工呼吸を行うと、自己心から拍出される血液の動脈血炭酸ガス分圧 ( $\text{PaCO}_2$ ) が低値となり、脳血流が減少する恐れがある。



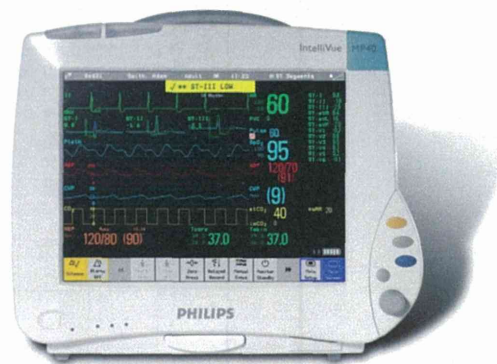
人工呼吸器

### C.3.2. モニタ

PCPS 施行中は下記のとおり様々な生体情報モニタが用いられるが、特に以下の点に注意が必要である。

#### 1) 生体情報監視装置

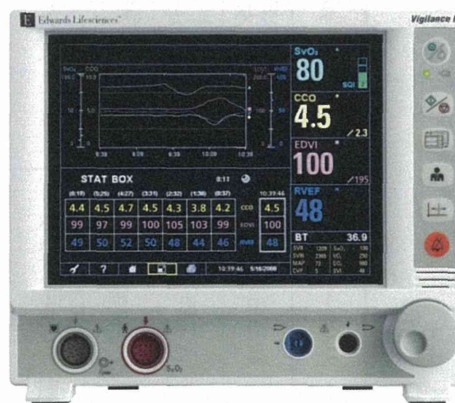
- ・心電図 (ECG)
- ・動脈圧 (AoP)
- ・中心静脈圧 (CVP)
- ・動脈血酸素飽和度 ( $\text{SpO}_2$ )
- ・呼気終末炭酸ガス分圧 ( $\text{EtCO}_2$ )
- ・体温



生体情報モニタ

#### 2) スワンガンツカテーテル

- ・心拍出量・心係数 (CO・CI)
- ・静脈血酸素飽和度 ( $\text{SvO}_2$ )
- ・肺動脈圧 (PAP)
- ・肺動脈楔入圧 (PCWP)



心拍出量計

### 3) 無侵襲混合血酸素飽和度監視装置

- ・局所組織酸素飽和度 (rSO<sub>2</sub>)



局所組織酸素飽和度

- 蘇生後、自己肺の酸素加能が著しく低下していることがあるため、自己心から拍出される血液と PCPS から送血される血液の血液ガスには大きな解離を生じることがある。このため、自己心からの拍出がある場合は、冠動脈や脳に十分に動脈血化されていない血液が灌流することもある。自己心の拍出する血液と PCPS から送血される血液との **mixing point** を考慮し SpO<sub>2</sub> は必ず右手で測定する。また、無侵襲混合血酸素飽和度監視装置などを頭部に用いることにより、比較的すみやかに脳循環の指標として利用できる。
- PCPS 施行中にスワングアンツカテーテルや経静脈一時ペーシング用電極を挿入する際には、右房に留置された脱血管への血液の引き込みにより、バルーンを血流に乗せて右室に進めることが困難な場合がある。このような場合は、一時的に送血流量を下げることにより挿入が可能となることがある。
- PCPS 施行中にスワングアンツカテーテルから得られる各種圧力データは、心機能評価の指標とはならない場合があるので、心エコーなどを併用し評価する必要がある。
- EtCO<sub>2</sub> は通常、PaCO<sub>2</sub> の良い指標となるが、PCPS 施行中は肺血流量の減少により Et

CO<sub>2</sub> は低値を示す。自己心の拍出が無い場合（肺循環がない場合）には 0 に近い値をとるが、自己心の回復により肺循環が増えるに伴い値は上昇するため肺循環の指標ともなる。

### C.3.3. 血液浄化装置

PCPS 導入期には乏尿となり、CHDF (continuous hemodiafiltration) に代表されるような CBP (continuous blood purification therapy) を併用するケースが多くみられる。CBP により水分バランス、電解質、酸塩基平衡の是正が行われるが、以下の点に注意が必要である。

- 1) CBP による除水によって循環血液量が減少し、PCPS の流量維持が困難となる場合がある。
- 2) CBP にはブラッドアクセスが必要であるが、PCPS 回路からの脱血や PCPS 回路への返血は、予期せぬ陰圧や陽圧による重篤なトラブルにつながる恐れがあるため、基本的には行わない。
- 3) CBP において極端な浄化量の増加は、代謝性アシドーシスを **masking** することがある。



血液浄化装置

### C.3.4. 体温管理関連機器

PCPS 導入時、低体温療法を行う際に人工肺に熱交換器が搭載されていない場合、低体温維持装置が必要となる。

体外式血液冷却バックは Internal cooling を行う事が可能であるが、通常 CBP 回路に組み込まれ使用されるため、人工肺の熱交換器のように ECPR 開始から速やかに低体温を導入することは出来ない。

一方、External cooling が可能な機器としては、水循環式のブランケットやゲル被覆パッドを体に巻き付けて熱交換を得る体温管理機器がある。Internal cooling と比較すると目標体温に到達するまでに時間を要するが、低侵襲で患者の体温を測定することにより目標体温になるように自動的に灌流水温を調整することが可能であり管理が容易である。

また、冷却水を循環させる特殊なカフを用いて咽頭冷却を行うことにより脳低体温を得る装置や、血管内に留置したバルーンカテーテルに温度調整された生理食塩水を灌流する装置（現在は急性重症脳障害の体温管理にのみ使用可）なども研究・開発中であり今後の動向が期待される。（多施設臨床研究：i-Cool、多施設共同試験：COOL-ARREST JP）

これらの体温管理関連機器の使用時には、体温測定部位による問題点を把握しておく必要がある。cooling 時には、測定部位によっては血液温の変化に対して追従せず、遅れて下がってくる場合があるので、常に中枢温との温度格差を念頭におき、過冷却に注意する。

#### 1) 血液温

S-G カテーテルより得られる血液温は良い中枢温の指標となる。

#### 2) 食道温

血液温を正確に反映する。胃に挿入されると中枢温から若干の誤差が見られる為、注意を要する。

#### 3) 膀胱温

尿量により中枢温への追従性は変化する。十分な尿量が得られている場合は良い指標となるが、

PCPS 導入患者では乏尿であることが多く正確な指標となりにくい。比較的簡便に測定が可能のため、よく利用される。

#### 4) 直腸温

中枢温への追従性は低い為、指標となりにくい。比較的簡便に測定が可能のため、よく利用される。

#### 5) 鼓膜温

脳温との相関性が高いので、良い指標となるが、測定値の信頼性に問題がある場合がある。比較的簡便に測定が可能のため、よく利用される。

#### 6) 他の末梢部位（体表）

低体温療法の指標とはならない。



低体温管理持装置



体外式血液冷却バック

### C.3.5. 抗凝固療法関連機器

PCPS 施行時には、ヘパリンなどの抗凝固薬による抗凝固療法が行われる。抗凝固のモニタリングとしては、ベッドサイドで簡易測定が可能な活性化全血凝固時間（activated whole blood clotting time : ACT）が用いられるが、厳密な抗凝

固管理を行うに際しては、APTT（活性化部分トロンボプラスチン時間）などの定期的な測定も重要となる。



ACT 測定装置

### C.3.6. 心エコー

心機能評価とともに血栓の確認や補助流量の調節に有用である。重症左心不全症例では PCPS による後負荷の増大により、左室からの拍出が障害され大動脈弁の動きが制限されることがある。心エコーなどにより大動脈弁の動きや心腔内の血液の滞留に注意し、心腔内血栓の防止に努める必要がある。



心エコー